

PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 10-041274

(43)Date of publication of application : 13.02.1998

(51)Int.Cl.

H01L 21/3065

(21)Application number : 09-112887

(71)Applicant : APPLIED MATERIALS INC

(22)Date of filing : 30.04.1997

(72)Inventor : PU BRYAN
SHAN HONGCHING
WELCH MICHAEL

(30)Priority

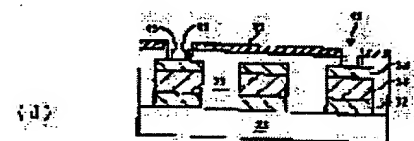
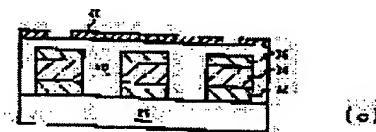
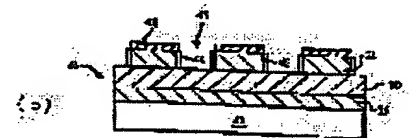
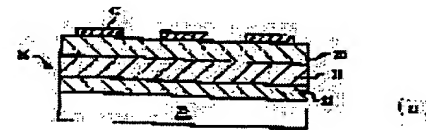
Priority number : 96 639388 Priority date : 29.04.1996 Priority country : US

(54) METHOD OF ETCHING DIELECTRIC LAYER

(57)Abstract:

PROBLEM TO BE SOLVED: To provide a dielectric layer etching method at a high etching selectivity, low etching rate microloading and high etching rate.

SOLUTION: A process gas comprises a fluorocarbon gas for etching a dielectric layer 20 to form a passivation deposit 46 on a substrate 25, C-O gas for accelerating formation of the deposit 46 and N-contained gas for etching the deposit 46 formed on the substrate 25. The vol. flow ratio of the fluorocarbon, carbon-oxygen and nitrogen-containing gases is selected so that the dielectric to resist etching selectivity ratio is at least 10:1, etching rate microloading is less than 10% and dielectric etching rate is at least about 100nm/min.



LEGAL STATUS

[Date of request for examination]

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number]

[Date of registration]

[Number of appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of requesting appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of extinction of right]

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開平10-41274

(43) 公開日 平成10年(1998) 2月13日

(51) Int.Cl.⁶

H 0 1 L 21/3065

識別記号

庁内整理番号

F I

H 0 1 L 21/302

技術表示箇所

F

審査請求 未請求 請求項の数13 O L (全 12 頁)

(21) 出願番号 特願平9-112887

(22) 出願日 平成9年(1997) 4月30日

(31) 優先権主張番号 08/639388

(32) 優先日 1996年4月29日

(33) 優先権主張国 米国 (U S)

(71) 出願人 390040660

アプライド マテリアルズ インコーポレ
イテッド

APPLIED MATERIALS, I
NCORPORATED

アメリカ合衆国 カリフォルニア州
95054 サンタ クララ パウアーズ ア
ベニュー 3050

(72) 発明者 ブライアン プー

アメリカ合衆国, カリフォルニア州,
サン ノゼ, ロサト コート 3064

(74) 代理人 弁理士 長谷川 芳樹 (外4名)

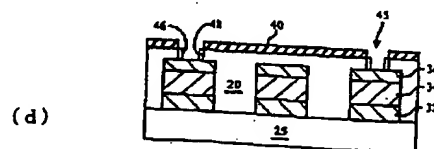
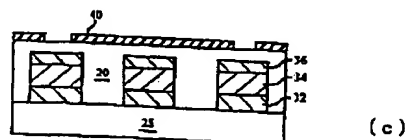
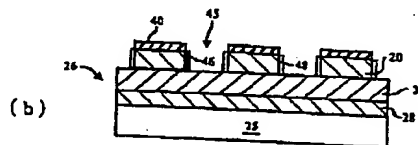
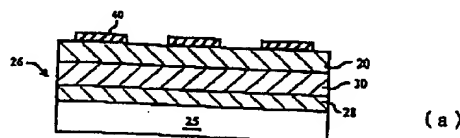
最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 誘電層のエッチング方法

(57) 【要約】

【課題】 高エッチング選択率、低エッチング速度マイクロローディング、高エッチング速度の誘電層のエッチング。

【解決手段】 プロセスガスは、(i) 誘電層 (20) にエッチングを施し、基板 (25) 上にパッシベーション堆積物 (46) を形成するためのフルオロカーボンガスと、(ii) パッシベーション堆積物 (46) の形成を促進する炭素-酸素ガスと、(iii) 基板 (25) に形成されたパッシベーション堆積物 (46) にエッチングを施すための窒素含有ガスとを具備する。フルオロカーボンガス：炭素-酸素ガス：窒素含有ガスの体積流量比は、誘電体とレジストのエッチング選択率比が少なくとも10：1、エッチング速度マイクロローディングが10%未満、誘電体エッチング速度が少なくとも約100nm/分となるように選択される。



【特許請求の範囲】

【請求項1】 (a) レジスト材料を自身の上に有する誘電層を備える基板を、プロセスゾーンに配置するステップと、

(b) (i) 誘電層にエッチングを施するための、また前記基板上にパッシベーション堆積物を形成するための、フルオロカーボンガスと、(ii) 前記パッシベーション堆積物の形成を促進するための炭素-酸素ガスと、(iii) 前記基板上に形成されたパッシベーション堆積物の少なくとも一部にエッチングを施すための窒素含有ガスとを備えるプロセスガスを、前記プロセスゾーン内に導入し、該プロセスガスからプラズマを生成するステップとを有するエッチング方法。

【請求項2】 該ステップ(b)において、(i) 誘電体とレジストにエッチングを施す際のエッチング選択率は少なくとも約10:1に、(ii) エッチング速度マイクロレーディングは約10%未満に、(iii) 誘電体へのエッチング速度は少なくとも約100nm/分になるように、フルオロカーボンガス:炭素-酸素ガス:窒素含有ガスの体積流量比が選択される請求項1に記載の方法。

【請求項3】 該ステップ(b)において、フルオロカーボンガス:炭素-酸素ガス:窒素含有ガスの体積流量比は

(1) パッシベーション堆積物の形成速度は前記パッシベーション堆積物の除去速度とほぼ等しくなるように、且つ、

(2) 誘電層の下に下層があり、該下層がポリシリコン層又は単結晶シリコン層又はケイ化チタン層又は拡散防壁層又は反射防止層を備える場合、誘電層をエッチングする際の誘電層対下層のエッチング選択率は少なくとも20:1となるように、選択される請求項1又は2のいずれかに記載の方法。

【請求項4】 フルオロカーボンガス:炭素-酸素ガス:窒素含有ガスの体積流量比が7:8:4~3:4:4である請求項1に記載の方法。

【請求項5】 フルオロカーボンガス:炭素-酸素ガス:窒素含有ガスの体積流量比が6:7:4~4:5:4である請求項4に記載の方法。

【請求項6】 フルオロカーボンガスと窒素ガスの体積流量が、5:1~1:5である請求項1に記載の方法。

【請求項7】 窒素含有ガスが、フッ素を含まず、 N_2 、 N_2O 、 NO_x の少なくとも一つを備える請求項1~6のいずれかに記載の方法。

【請求項8】 炭素-酸素ガスの流量が、フルオロカーボンガスの流量より小さいか等しい請求項1~7のいずれかに記載の方法。

【請求項9】 フルオロカーボンガスが、(i) 水素を含有する第1のフルオロカーボンと、(ii) 水素を含有しない第2のフルオロカーボンとを備える請求項1~

8のいずれかに記載の方法。

【請求項10】 (1) 前記第1のフルオロカーボンガスが、 CHF_3 、 CH_3F 、 C_2HF_5 、 CH_2F_2 または $C_2H_4F_2$ の少なくとも一つを有し、

(2) 前記第2のフルオロカーボンガスが、 CF_4 、 C_2F_6 、 C_3F_8 、 C_4F_{10} または C_4F_{10} の少なくとも一つを有し、

(3) 炭素-酸素ガスの流量が、前記第1のフルオロカーボンガスと第2のフルオロカーボンガスの流量の合計以下であり、

(4) 前記第1のフルオロカーボンガスと前記第2のフルオロカーボンガスの体積流量比が1:1~10:1の範囲にある請求項9に記載の方法。

【請求項11】 前記プロセスガスが、前記基板をスパッタするための不活性ガスを有し、且つ、プロセスガスと不活性ガスの体積流量比が3:1~1:2の範囲である請求項1~10のいずれかに記載の方法。

【請求項12】 前記プロセスガスが、 CHF_3 と、 C_4F_8 と、 CO と、 N_2 と、不活性ガスとからなるグループから選択される請求項1~11のいずれか一つに記載の方法。

【請求項13】 (1) CHF_3 と C_4F_8 の体積流量比が1:1~10:1の範囲であるか、

(2) CHF_3 と C_4F_8 の流量の合計と N_2 流量との比が5:1~1:5の範囲であるか、又は、

3) 炭素-酸素ガスの流量が CHF_3 ガスと C_4F_8 ガスの流量の合計以下であるかである請求項12に記載の方法。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は基板エッチングの方法に関し、特に半導体基板上の二酸化ケイ素などの誘電層エッチング方法に関するものである。

【0002】

【従来の技術】集積回路製造においては、たとえば二酸化ケイ素、ドーピングされていないシリケートガラス、燐酸シリケートガラス(PSG)、ほう燐酸シリケートガラス(BPSG)、 Si_3N_4 またはTEOSが堆積したガラスなどの電気絶縁誘電層に対してエッチングを施すことが望まれることが多い。これらの電気絶縁誘電層は基板上に形成されるデバイスあるいは表面形状を電気的に絶縁するのに用いられる。たとえば、誘電層を単結晶シリコン基板上に堆積させたり、ポリシリコン層を基板上に、あるいは、たとえばケイ化チタンや窒化チタンなどの反射防止層または拡散防壁層上に堆積してもよい。別の例を上げれば、誘電層を、半導体基板上に形成されるデバイスを電気的に接続するのに用いられる導電性のインターコネクタライン上に堆積させてもよい。誘電層をエッチングするためには、レジスト材料を誘電層に堆積し、フォトリソグラフィ方法を用いてパターンニ

グを施し所望の形状をなすホールや線を形成する。ホールは絶縁誘電層の露出部から、シリコン層、ポリシリコン層、ケイ化チタン層や窒化チタン層などの下層までエッチングされる。エッチングされたホールは導電性材料で満たされ、一般的にはコンタクトホールあるいはバイアとして知られる縦型導電性インターコネクト部が形成される。この接続部は基板に形成されるデバイスを接続したり、低部のインターコネクトラインと上部のインターコネクトラインをインターコネクトするものである。

【0003】従来のエッチング方法においては、誘電層のエッチングには、たとえば、 CHF_3 、 CF_4 やアルゴンなどの、フルオロカーボンガスのプラズマが用いられている。しかしながら、こうしたガス組成ではエッチング選択率とエッチング速度マイクロローディングの両方を同時に制御することはできない。ガス組成を高エッチング選択率になるよう調整すれば、しばしば高マイクロローディングを招き、逆に低エッチング速度になるように調整すれば、低エッチング選択率を招く。エッチング選択率とは、誘電層のエッチング速度と、上層のレジスト層、あるいは下層のシリコン層、ポリシリコン層、ケイ化チタン層や窒化チタン層のエッチング速度の比を意味する。誘電体エッチング速度を近接する層に対するエッチング速度より速くして、上層のレジスト層を過度にエッチングすることなく、しかも下層に至るまでエッチングすることなく誘電体をエッチングすることが望まれている。エッチング速度マイクロローディングとは大きなサイズの表面形状と小さな表面形状におけるエッチング速度の相対的な差の測度であり、均一なサイズに表面形状がエッチングされ、下層に至る前にエッチングを止めるためにはこのエッチング速度マイクロローディングが10%未満であることが必要である。低エッチング速度マイクロローディングの従来のエッチング方法では、誘電体とレジストのエッチング選択率比は通常約5:1未満であることが多い。しかし、最新の集積回路では、誘電体とレジストのエッチング選択率を5:1より大きく、対ポリシリコン、 WSi_2 と TiSi_2 では20:1より大きく、対拡散防壁や反射防止層では40:1より大きくすることが往々にして求められている。

【0004】

【発明が解決しようとする課題】高選択率かつ低マイクロローディングのエッチングを施すために、炭素とフッ素原子を多数含有する、たとえば C_4F_8 や C_2F_4 などのフルオロカーボンガスを、たとえば CHF_3 、 CO やアルゴンなどの（エッチングガスの炭素含有量を増加させる）炭素含有ガスと組み合わせ用いられる。このようなガス組成が高エッチング選択率をもたらす。エッチングガス内で解離した炭素が複雑なポリマー副生物を形成し、それが「バッシベーション」層として被エッチング表面形状の側壁と、下層、上層に堆積し、これらに対するエッチングを抑えるからである。被エッチング表面形

状の側壁のバッシベーション層は側壁のエッチングを抑制し、「等方性」エッチングを防ぐ。垂直方向の「異方性」エッチングは望ましいものの、バッシベーションポリマーを被エッチング表面形状の側壁に過度に堆積させることは、被エッチング表面形状の断面プロファイルが傾斜したものになるので望ましくない。また、混合ガスの炭素含有量が多いと、誘電体エッチング速度が一般的には約50~70nm/分と低くなる。

【0005】従来のガス組成はまた、誘電層内でエッチングされるホールの断面形状に対して、エッチングされたホール間の距離の関数として変化する高プロファイルマイクロローディングを生じさせる。これは、径の小さなホールの側壁に形成されるバッシベーション堆積物の除去が径の大きなホールの場合よりも速い速度でなされるときに起こる。というのも、プラズマイオンは狭いホールの側壁間で運ばれ、その側壁から跳ね返り、側壁のバッシベーション層を過度にエッチングするからである。それとは対照的に、大径のホールの側壁のバッシベーション堆積物のエッチングは、チャネル効果が小径のホールの場合に比べ小さいので、小径の場合ほど進まない。結果として、ホールの断面形状に対して、ホールの直径の関数として変化する、高プロファイルマイクロローディングを生じさせる。

【0006】したがって、高エッチング選択性、低エッチング速度マイクロローディング、高エッチング速度を実現するエッチングプロセスが必要となる。またそのエッチング方法で、被エッチング表面形状の側壁に形成されるバッシベーション堆積物の量を制御することにより、プロファイルマイクロローディングを減少させ、実質的な異方性エッチングをもたらすことが望ましい。

【0007】

【課題を解決するための手段】本発明はレジスト材を被覆した誘電層を有する基板を、高エッチング選択率、低エッチング速度マイクロローディング、高エッチング速度でエッチングする方法を提供するものである。本発明の方法において、基板はプロセスゾーンに配置され、プロセスゾーンに導入されるプロセスガスからプラズマが生成される。プロセスガスは(i)誘電層にエッチングを施すための、また基板上にバッシベーション堆積物を形成するための、フルオロカーボンガスと、(ii)基板上へのバッシベーション堆積物の形成を促進する炭素-酸素ガスと、(iii)基板に形成されたバッシベーション堆積物を除去するための窒素含有ガスとを備える。好ましくは、フルオロカーボンガス：炭素-酸素ガス：窒素含有ガスの体積流量比を選択して、誘電体対レジストのエッチング選択率比が少なくとも10:1、エッチング速度マイクロローディングが10%未満、誘電体エッチング速度が少なくとも約100nm/分となるようにする。好ましくは、フルオロカーボンガス：炭素-酸素ガス：窒素含有ガスの体積流量比は、バッシベ-

シオン堆積物の形成速度がバッシベーション堆積物の除去速度とほぼ等しくなるように選択される。また、ガス組成は誘電体と下層のエッチング選択率比が少なくとも20:1になるように調整することができる。ここで下層とは、たとえば単結晶シリコン、ポリシリコン、ケイ化チタン、反射防止層または拡散防壁層である。

【0008】好ましいエッチングガス組成は、水素を有する第1のフルオロカーボンガスと水素を有しない第2のフルオロカーボンガスとを備えるものである。好ましくは、第1のフルオロカーボンガスは CH_3F と、 CHF_3 と、 C_2HF_5 と、 CH_2F_2 と、 $\text{C}_2\text{H}_4\text{F}_2$ とからなるグループから選択され、第2のフルオロカーボンガスは、 CF_4 と、 C_2F_6 と、 C_3F_8 と、 C_4F_8 と、 C_4F_{10} とからなるグループから選択される。窒素含有ガスは、フッ素を有しないことが好ましく、また、 N_2 、 N_2O または NO_x を有していてもよく、この中では N_2 が好ましい。プラズマによって活性化され基板から材料をスパッタする不活性ガスをプロセスガスに加えて、エッチング速度とエッチング選択率を高めてもよい。不活性ガスは、アルゴン、キセノン、ネオン、クリプトンまたはヘリウムを備えていてもよく、この中ではアルゴンが好ましい。

【0009】本発明の上記の、またこれ以外の特徴、解釈、効果は以下の本発明の例を示している図面、説明、特許請求の範囲からよりよく理解できるであろう。

【0010】

【発明の実施の形態】本発明のエッチング方法は、図1(a)～図1(d)に示されるように、基板25上の誘電層20への高エッチング選択率かつ高エッチング速度のエッチングに有用である。基板25は、ガラス、セラミック、金属、ポリマー等のあらゆる材料でできていてもよいが、シリコンウエハやガリウムヒ素ウエハなどの半導体基板であってもよい。基板25上の誘電層20は代表的には、酸化シリコン、燐酸シリケートガラス(PSG)又はほう燐酸シリケートガラス(BPSG)等の層を、約400～800nmの厚さで備える。また誘電層20は複数の層、例えば300～800nmのBPSG層を自身の上に有する厚さ約100～500nmの酸化シリコン層であってもよい。ここでは本発明のエッチング方法を誘電層エッチングについて例示しているが、ケイ化物、窒化物、ホウ化物層などの非酸化物層、例えば Ta_2O_5 、 TiO_2 、 TiB 、 WSi_3 、 MoSi_2 等を含む膜のエッチングに用いることもできる。このように、本発明は誘電層のエッチングに限定されるものではない。

【0011】誘電層20は、基板25に形成されるデバイスやインターコネクタラインを電気的に絶縁させるために用いられる。例えば、図1(a)に示されるように、誘電層20を、ケイ化チタン等の接触抵抗減少層やドーパポリシリコン層28や拡散層30等の下層26の

上に堆積させて、下層26電気的に絶縁させてもよい。また、図1(c)に示されるように、(i)チタンや、タングステンや、チタン-タングステンや、窒化チタン等の下拡散防壁層32と、(ii)アルミニウム、銅、シリコンを備える導電層34と、(iii)シリコン、窒化チタン、チタン-タングステンなどの反射防止層36とを典型的に有する被エッチングインターコネクタラインを電気的に絶縁するために、絶縁層20を用いる。これらの層の厚さはそれぞれ通常約200nm～1000nmである。

【0012】従来のフォトリソグラフィーのプロセスにおいては、デュボン・ド・ヌムールケミカルカンパニー(デュボン社)で製造の「RISTON」などのフォトレジスト40を厚さ約0.4～1.3ミクロンで誘電層20に塗布し、所望の形状の表面形状45に対応するマスクを介して光パターンにレジストを曝露しエッチングしようとする絶縁誘電層の表面形状45、例えばホールやパイア等を画成する。誘電層20のうちレジスト非曝露部分の下にある部分が、エッチングプロセス中にエッチングされる。エッチングプロセス時、ポリマーバッシベーション堆積物46が、被エッチング表面形状45の側壁48に形成される。被エッチング表面形状45の大きさは通常約0.2～約10ミクロン、さらに典型的には約0.4～約2ミクロンである。表面形状間隔は通常0.2～10ミクロンである。

【0013】図2に示されるように、基板25上の誘電層20は、たとえば米国カリフォルニア州サンタクララのアブライド・マテリアル社から市販されているMxP+OXIDE ETCHチャンバなどのプロセスチャンバ50でエッチングを施される。同図に示されるプロセスチャンバ50の例は半導体基板25の処理に好適で、本発明の例示の目的のためだけに示されるものであり、本発明の範囲を制限するものではない。たとえば、本発明のエッチングプロセスはあらゆる基板25をエッチングするのに用いることができ、半導体製造以外の製造プロセスでも利用可能である。

【0014】上記プロセスを実行するために、プロセスチャンバ50を約1mTorr未満の圧力になるよう減圧排気し、真空に保たれた(図示しない)ロードロック移送チャンバからプロセスチャンバ50のプラズマゾーン55まで、基板20を移送する。プラズマゾーン55の体積は好ましくは、少なくとも約5,000 cm^3 であり、より好ましくは約10,000～50,000 cm^3 である。基板20は、カソード電極60としても機能する支持体の上に設置され、プロセスチャンバ50の側壁は接地されてアノード電極65を形成する。エッチング処理中は、基板25の温度を制御するためヘリウム等の冷却ガスを内部に保持するグループを有する機械チャック又は静電チャックを用いて、基板を適所に固定させてもよい。

【0015】処理ガスを基板25の周囲に設けられたガス分配器80を介してプロセスチャンバに導入し、プロセスチャンバ50は約 $1 \sim 1000 \text{ mTorr}$ 、より一般的には $10 \sim 300 \text{ mTorr}$ の圧力に保たれる。プラズマゾーン55で電界が保たれ、(i) RF電流をプロセスチャンバとり巻くインダクタコイル(図示しない)に印加することにより誘導的に、(ii) RF電流をプロセスチャンバ50内のカソード、アノード電極60、65に印加することにより容量的に、あるいは(iii)誘導的かつ容量的に、プロセスガスからプラズマを形成する。反応性イオンエッチング(RIE)プロセスにおいて、プラズマの生成は代表的には、約 $100 \sim 2000$ ワットのRF電圧をカソード電極60に印加し、アノード電極65を接地することにより容量的に行われる。あるいは、約 $750 \sim 2000$ ワットのRF電流をインダクタコイルに印加して、エネルギーをプロセスチャンバに誘導結合させてプラズマゾーン55内にプラズマを発生させてもよい。処理電極60、65あるいはインダクタコイルに印加するRF電流の周波数は一般的に $50 \text{ KHz} \sim 60 \text{ MHz}$ の間、より一般的には約 13.56 MHz である。

【0016】プラズマの励起は電子サイクロトロン共鳴リアクタあるいは磁気強化リアクタを使って行うことができる。これらのリアクタは、永久磁石や電磁コイルなどの磁界発生器85を用いてプラズマゾーン55内に磁界を発生させ、プラズマゾーン55のプラズマの密度と均一性を高める。1989年6月27日発行の米国特許番号4,842,683で述べられているように、基板25面に平行な軸を有する回転磁界を、磁界が備えることが好ましい。本発明でもこの磁界を適用する。プロセスチャンバ50の磁界はプラズマ内部のイオンの密度を高めるのに十分な強度を有し、またCMOSゲートなどの表面形状の電荷増加によるダメージを減少させるのに十分な均一性を有するべきである。通常、基板表面で測定される磁界は約 500 ガウス未満、より一般的には約 $10 \sim 100$ ガウス、最も一般的には約 $10 \sim 30$ ガウスである。

【0017】プロセスチャンバ50を約 10^{-3} mTorr の最小圧力にすることが可能な減圧排気システム90を介して、使用済みプロセスガスとエッチングガス副生物がプロセスチャンバ50から排出される。スロットバルブ95はプロセスチャンバ50内の圧力を制御するために減圧排気システムに設置される。また、光終点測定技術を用いて、検出可能な気体種に対応するある波長の発光強度の変化を測定することによって、通常特定の層のエッチングプロセスの終了を決定する。検出される種、例えばCOやCNなどの種の量の急激な減少増加は、プロセスガスと二酸化ケイ素やポリシリコン層との化学反応によるもので、誘電層20に対するエッチングの終了と下層に対するエッチングの開始を示す。

【0018】本発明のエッチングプロセスは基板25上の誘電層20を高エッチング速度、高選択率でエッチングするものである。エッチングプロセスで使用されるプロセスガスは(i)誘電層20にエッチングを施すための、また基板25上にパッシベーション堆積物46を形成するためのフルオロカーボンガスと、(ii)パッシベーション堆積物形成を促進させるための炭素-酸素ガスと、(iii)基板25上のパッシベーション堆積物46にエッチングを施すための窒素含有ガスとを備える。また、不活性ガスをプロセスガスに添加して、基板25から材料をスパッタ、除去するためのスパッタイオンを生じさせるようにしてもよい。これらのガスの特性およびガスの好ましい体積流量比については以下に説明する。

【0019】フルオロカーボンガスは基板25上の誘電層20をエッチングするフッ素含有種を生成することができる。たとえば、酸化シリコン層はフッ素含有イオンと中性種によってエッチングを施され、プロセスチャンバ50から排出される揮発性 SiF_x 種を生成する。好適なフルオロカーボンガスはたとえば CF_3 、 CF_4 、 $\text{C}_2\text{H}_2\text{F}_2$ 、 CHF_3 、 CH_2F_2 、 $\text{C}_2\text{H}_4\text{F}_2$ 、 C_2F_4 、 C_3F_8 、 C_4F_{10} 、 $\text{C}_2\text{H}_6\text{F}_2$ 、 C_4F_{10} など炭素、フッ素、任意に水素を有している。本発明の好ましい解釈において、フルオロカーボンガスは(i)たとえば CH_3F 、 CHF_3 、 $\text{C}_2\text{H}_6\text{F}_2$ 、 CH_2F_2 、 $\text{C}_2\text{H}_4\text{F}_2$ などの水素含有フルオロカーボンの第1のグループと、(ii)たとえば CF_4 、 C_2F_6 、 C_3F_8 、 C_4F_{10} 、 C_6F_{14} などの水素を含有しないフルオロカーボンの第2のグループから選択されるフルオロカーボン種の混合したものを備える。ガスの化学的性質については十分にわかっていないが、概して第2のグループのフルオロカーボンは遊離炭素と CF_2 ラジカルの量を増加させ、異方性エッチングと高いエッチング選択率をもたらすと思われる。しかしながら第2のグループのフルオロカーボン量が過度になると炭素含有量が多いことによりエッチング速度が遅くなる。さらに、第1のグループのフルオロカーボン(ただし $\text{C}_2\text{H}_2\text{F}_2$ を除く)はエッチング速度を速め、エッチング選択率を低下させられると思われる。なぜなら、これらのフルオロカーボンの遊離炭素ラジカルと結合する水素種により気体炭化水素を生成しこれはプロセスチャンバから排出されるため、パッシベーション堆積物の形成に用いる炭素の量を制限し、且つ、誘電層20のエッチングに用いるフッ素種の量を増加させることになるからである。第1のグループと第2のグループのフルオロカーボンから選択されるガスの組み合わせにより最適なエッチング速度とエッチング選択率比が得られることがわかった。たとえば、好ましいガスの組み合わせには第1グループの CHF_3 ガスと、第2グループの C_4F_{10} ガスが約 $1:1 \sim 10:1$ 、より好ましくは $1:1 \sim 6:1$ 、最も好ましくは約 $4:1$ の体積流量比で含まれている。

【0020】炭素-酸素含有ガスは、基板25上にバッシベーション堆積物46を形成する炭素含有種の生成を促進させるために用いられ、また、シリコンを含有する下層のエッチング速度を制御するのに用いられる。炭素-酸素含有ガスは通常は、フッ素種と反応して揮発性の COF_2 を生成して、プロセスチャンバ50内のフッ素濃度を減少させ、結果的にシリコンを含有する下層のエッチングを減少させる。加えて、炭素-酸素含有ガスは、他の種、たとえば窒素、フッ素、ホウ素などと反応して被エッチング表面形状の側壁にバッシベーション堆積物46として堆積するポリマーを形成する遊離炭素種の生成を促進する。たとえば、 CF_3 ラジカルは重合して、新たなエッチングされた表面形状45の側壁に堆積するバッシベーション堆積物としてのポリマーを生成し、縦方向の異方性エッチングを促進する。このため、炭素-酸素ガス流量が過度に高いと、過度なバッシベーション堆積物46が基板25上に形成され、誘電体エッチング速度を遅くする。こうした理由から、炭素-酸素ガスの流量をフルオロカーボンガスの流量より小さく、あるいは実質的に等しくなるよう保つことにより、誘電体対下層のエッチング選択率を高い状態で異方性エッチングを施しつつ基板25を高速にエッチングするのに十分なフッ素含有種をもたらす。好適な炭素-酸素ガスはたとえば CO 、 HCOOH 、 HCHO を含み、この中では CO が好ましい。

【0021】窒素含有ガス、例えば N_2 、 NO 、 NO_2 等は、フルオロカーボンと炭素-酸素含有ガスとの結合によって予期しない効果をもたらす。上述のとおり、フルオロカーボンと炭素-酸素ガスの成分は解離して、被エッチング表面形状45の側壁48にポリマーバッシベーション堆積物46を形成するための CF_3 種を生成する。窒素含有ガスは CF_3 ラジカルの一部と反応して揮発性の CN ラジカルを生成し、これがプロセスチャンバ50から排出されると考えられる。この結果、プラズマゾーン内の酸素種が増加し、遊離炭素と反応して基板25に形成されるバッシベーション堆積物46の量を減少させ、エッチング速度マイクロローディングを減少させ、エッチングプロセスをストップさせかねない過度に厚いバッシベーション層の堆積を防ぐ。また、フルオロカーボンガスと炭素-酸素ガスによって比較的多量の遊離炭素と CF_3 ラジカルができて誘電層のエッチング速度を遅くするが、窒素種がフッ素、 CF_3 と反応して基板25からバッシベーション堆積物46をエッチングして除く NF_3 を生成すると考えられる。よって、たとえば N_2 、 NO 、 NO_2 などのフッ素を含まない窒素含有ガス、なかでも N_2 を用いるのが望ましい。フルオロカーボンガスと窒素含有ガスの体積流量比は約5:1~1:5、好ましくは約3:1~1:3、最も好ましくは約2:1~約1:2であるのが望ましい。

【0022】最適なエッチング結果を出すためには、フ

ルオロカーボンガス：炭素-酸素ガス：窒素含有ガスの体積流量比は、側壁48と新しくエッチングされた表面形状45の低部へのバッシベーション堆積物46の形成速度がバッシベーション堆積物46の除去速度にほぼ等しくなるように、選択される。これにより高いエッチング選択率比が得られ、たとえば誘電体とレジストのエッチング選択率比は少なくとも約10:1が得られ、同時に誘電層20を少なくとも100nm/分、より一般的には200~500nm/分という高エッチング速度でエッチングし、エッチング速度マイクロローディングを減少させる。基板25が誘電層20の下にたとえばポリシリコン、単結晶シリコン、ケイ化チタン、窒化チタン、窒化シリコン層などの下層26を備えるとき、フルオロカーボンガス：炭素-酸素ガス：窒素含有ガスの体積流量比を調整して、特定の組み合わせの材料に対するエッチング選択率比、たとえば誘電体のレジスト、ポリシリコン、拡散防壁層、ケイ化チタン層あるいは反射防止層などに対するエッチング選択率比を増加させることができる。特に、フルオロカーボンガス：炭素-酸素ガス：窒素含有ガスの体積流量比は、誘電体のポリシリコン、ケイ化チタンあるいは窒化チタンに対するエッチング選択率比が少なくとも約20:1、より好ましくは少なくとも30:1になるように選択する。また、フルオロカーボンガス：炭素-酸素ガス：窒素含有ガスの体積流量比を調整して、被エッチング表面形状45の側壁48の平坦面の基板25上の誘電層20の表面に対する角度が少なくとも85°になるようにしてもよい。たとえば高エッチング選択率、低エッチング速度マイクロローディング、卓越したエッチング速度を与えるようなフルオロカーボンガス：炭素-酸素ガス：窒素含有ガスの体積流量比は約7:8:4~約3:4:4、より好ましくは約6:7:4~約4:5:4の範囲である。好ましい体積流量比をここで挙げたが、材料の様々な組み合わせ、たとえば表面形状のアスペクト比など表面形状の形状に応じた調整を行い、本発明の範囲を逸脱することなく特定のエッチング選択率、エッチング速度マイクロローディング、エッチング速度を得ることができるということに注意すべきである。

【0023】好ましくは、不活性ガスをプロセスガスに加えて、新たにエッチングされた表面形状45の側壁48にバッシベーション堆積物46をスパッタさせるイオン化したスパッタ種を生成する。また、不活性ガスもイオン化してプロセスガスの解離を促すイオン化した準安定状態を形成する。よって、不活性ガスに広範な励起エネルギーをもたせることも望ましく、そうすることによってプロセスガスの解離を促すエネルギー移動反応が励起した不活性ガスとプロセスガスの間で起こる。好適な不活性ガスはアルゴン、ヘリウム、ネオン、キセノン、クリプトンを含み、その中でもアルゴンが好ましい。十分な量の不活性ガスがプロセスガスに加えられて、バッシ

シベーション堆積物46が基板25からスパッタされるのを促進し、プロセスガスの解離を高める。しかしながら、過度に不活性ガスの流量を増やすと基板25上のレジストをスパッタすることになり、レジストに小面(ファセット)を形成し、レジストの下にある誘電層20をエッチングし、高プロファイルマイクロローディングを引き起こす。したがって、不活性ガスとプロセスガスの体積流量比は約3:1~約1:2であることが好ましい。

【0024】高エッチング選択率でシリコン基板25上の酸化シリコン層をエッチングするのに適した一つの好ましいプロセスガスの組成は、 CHF_3 、 C_4F_8 、 CO 、 N_2 とアルゴンを備える。ここで述べているプロセスチャンバ50の体積に対して、(i) CHF_3 の好適な流量は約10~約60 sccm、より望ましくは約20~約50 sccm、(ii) C_4F_8 の好適な流量は約0.5~約40 sccm、より望ましくは約2~約20 sccm、(iii) CO の好適な流量は約10~90 sccm、より望ましくは約20~約60 sccm、(iv) N_2 の好適な流量は約5~約80 sccm、より望ましくは約10~約40 sccm、(v) アルゴンの好適な流量は約50~約300 sccm、より望ましくは約100~約250 sccmである。実際の流量はプロセスチャンバ50の体積に依存するので、本発明はここで挙げた流量に限定されるものではない。

【0025】本発明のエッチングプロセスは、エッチング速度マイクロローディングと誘電体エッチング速度を犠牲にすることなく高選択率で誘電層20にエッチングを施す。ここでエッチング選択率比とは、誘電層20のエッチング速度と、他の材料を備える近接する層(下側には反射防止層、拡散防壁層、ケイ化チタン層やポリシリコン層等、上側にはレジスト層等)のエッチング速度との比を意味するものである。高エッチング速度、低マイクロローディング、高エッチング選択率の組み合わせを得るためには、パッシベーション種の基板への堆積速度と基板からの除去速度の平衡を保ち、誘電層20のエッチングに用いられるフッ素含有種の量を制御する。過度なパッシベーション堆積物46によって誘電体へのエッチング速度全体が落ち、エッチング速度マイクロローディングが高くなる状態で、ポリマー堆積あるいは形成を抑制すると、一般にエッチング選択率を下げることになる。本発明におけるフルオロカーボンガス、炭素-酸素ガス、窒素含有ガス、不活性ガスの組み合わせによって、高エッチング速度、低エッチング速度マイクロローディング、高エッチング選択率という予期しない効果もたらされる。特に、本発明のエッチングプロセスでは、誘電体とレジストのエッチング選択率比は少なくとも約10:1、誘電体とポリシリコンのエッチング選択率比は少なくとも約20:1、誘電体と TiSi_x のエッチング選択率比は少なくとも約30:1となり、また

少なくとも約100 nm/分、より一般的には少なくとも約300 nm/分の高エッチング速度が得られつつ、エッチング速度マイクロローディングは約10%未満に抑えられる。

【0026】

【実施例】以下の実施例は、半導体基板上25上の誘電層20にエッチングを施す本発明の使用例を示したものである。しかし、装置と方法は当業者には明らかなように、ほかにも適用可能であり、本発明の範囲は以下に述べる実施例に限定されるものではない。

【0027】使用された基板25は直径200 mm (8インチ)のシリコンウエハであり、順に、ポリシリコン層、0.05ミクロンの TiSi_x 、厚さ約1.5ミクロンのBPSG層で被覆されている。基板25は、 $\text{MxP} + \text{OXIDE ETCH}$ チャンバ50のカソード60の上に配置され、チャンバ50の圧力が、約80 mTorrに保たれた。下で述べる特定のガス組成を備えるプロセスガスを、プロセスチャンバ50内に導入した。そのうち、プラズマをプラズマゾーン55で発生させ、基板25上の誘電層20をエッチングするエッチングガスを生成した。このプラズマは、RF電圧を約1100ワットの電力レベルのプロセス電極に印加することによって発生した。プラズマは約30 Gaussの回転磁界をプラズマゾーン55に与えることによって励起された。

【0028】基板25は、エッチング副産物を揮発させるのに十分な程度に高温に、且つ、新しくエッチングされた表面形状45の側壁のパッシベーション堆積物46の薄い層が揮発しない程度に低温に、冷却又は加熱された。典型的な例では、圧力を約14 mTorrに保って、基板25の裏面にヘリウムを流して、基板25を15°Cに冷却した。チャンバ壁を15°Cに加熱して壁にポリマー堆積物を形成した。エッチングプロセスを、基板25上の絶縁誘電層20全体にエッチングを施すのに十分な時間行い、光終点測定技術を用いて終了させた。エッチングの後、従来のプロセス条件に保たれた酸素プラズマを用いて残留レジストを燃焼して灰化させた。

【0029】エッチングされたウエハのSEM写真を用いて以下のことを測定した。(i) 誘電体エッチング速度、(ii) 誘電体エッチングと TiSi_x 、ポリシリコン、またはフォトレジストへのエッチングのエッチング選択率比、(iii) エッチング速度均一性、(iv) 側壁48のプロファイル角度、(v) %エッチング速度マイクロローディング。エッチング速度はウエハ内でエッチングされた表面形状45の深さを測定することによって算出した。エッチング選択率比は誘電層20のエッチング速度と TiSi_x 、ポリシリコンあるいはフォトレジスト層のエッチング速度の比から算出した。エッチング速度均一性は少なくとも15の異なる測定点を使い、下式によって算出した：

均一性 = (最大エッチング速度 - 最小エッチング速

度) / (2平均エッチング速度)。

【0030】%エッチング速度マイクロローディングは、基板上で異なるサイズの表面形状をエッチングしたときに得られるエッチング速度差の目安であり、下式からパーセント値として算出される：

%マイクロローディング = (大きな表面形状のエッチング速度 - 小さな表面形状のエッチング速度) / (大きな表面形状のエッチング速度) × 100。

【0031】下の実施例では、%エッチング速度マイクロローディングを、直径約1.1ミクロンの大きなサイズのホールと直径約0.5ミクロンの小さなサイズのホールについて測定し、エッチング速度は、基板25の中心と周縁部で平均したものである。

【0032】(実施例1～6)本発明のエッチングプロセスを従来のガス組成の異なるエッチングプロセスと比較するために、表1に示されるようないくつかの実験を行った。

【0033】

【表1】

表1
プロセスガス組成および例1～6の結果

例	プロセスガス	エッチング速度 (nm/分)	酸化物とTiSi ₂ の 選択率	酸化物とポリシリコンの 選択率	酸化物とレジストの 選択率	% マイクロローディング	アスペクト 比(°)
1	CHF ₃ /CF ₄ /Ar	400-700	<15	10-12	2-5	<10%	84-87
2	CO/CHF ₃ /CF ₄ /Ar	350-450	15-30	12-14	3-5	-10%	86-88
3	CO/C ₂ F ₆ /Ar	250-350	>60	20-25	10-15	-7%	86-88
4	CF ₄ /CO/C ₂ F ₆ /Ar	>500	N/A	<12	3-4	<10%	N/A
5	CHF ₃ /CO/C ₂ F ₆ /Ar	350-400	>80	30-35	15-20	>50%	84-87
6	CHF ₃ /N ₂ /CO/C ₂ F ₆ /Ar	350-550	40-60	15-20	10-12	<10%	85-88

これらの実施例から、本発明のエッチングプロセスの効果が例証される。特に、実施例6は、本発明におけるCHF₃/N₂/CO/C₂F₆/Arを備えるプロセスガスは、350nm/分を超える高エッチング速度、誘電体の対ケイ化チタンのエッチング選択率比は40:1を上回り、対ポリシリコンは15:1、対フォトレジストは10:1という優れたエッチング選択率比を示している。誘電層20内でエッチングされた表面形状45のプロファイル角度は約85°～約88°、%マイクロローディングは10%未満であった。一方、表に掲載されたそのほかのエッチングガス組成では、例えば実施例1、2の場合に見られるようにエッチング選択率比が本発明より低いか、実施例3の場合に見られるようにエッチン

グ速度が本発明より低いものであった。実施例4は最も高いエッチング速度を示したものの、誘電体とフォトレジストのエッチング選択率比は容認できないほどの低さで、レジストエッチング速度が比較的高いため、チャンバ壁に過度なポリマー堆積物を形成することになった。実施例5では、高いエッチング速度と優れたエッチング選択率を示したが、%マイクロローディングは>50%であり、容認できないものであった。

表2

直交マトリクス条件

ファクター	レベル		
	I	II	III
CHF ₃ 流量 (sccm)	0	20	40
N ₂ 流量 (sccm)	0	20	40

これらの実験においては、プロセスチャンバ50内の圧力を80mTorrに保ち、磁界を30ガウスに保った。カソード60とチャンバ壁の温度は15℃に保った。ヘリウムをウエハの裏面に14Torrの圧力で流した。C₄H₈の流量を5sccmに、CO流量を30sccmに、アルゴン流量を200sccmに保った。電力レベル1100ワットの電流をカソード電極60に印加しプロセスチャンバ50内にプラズマを生成するためのRFバイアスを発生させた。

【0036】実施例7-15の結果を表3に示す。また、図3~図8は、エッチング速度、均一性、誘電体とポリシリコンあるいはフォトレジストの選択率比、プロファイル角度、%マイクロローディングの変化を、N₂とCHF₃の体積流量の関数として示している。図3は、CHF₃の流量が高くなるにつれてエッチング速度が速くなることを示している。図4によれば、CHF₃

【0034】(実施例7~15) 実施例7~15では、CHF₃と窒素の体積流量比を2:1直交マトリクスをとるよう要因配置実験法を用いて最適化した。表2に示されるように、3つの流量を2つのプロセス変数のそれぞれについて選択した。

【0035】

【表2】

の流量が高くなるにつれてエッチング速度における非均一性が減少するものの、N₂の流量の増加がエッチング全体の非均一性を減少させているように思われる。図5は誘電体とポリシリコンをエッチングするためのエッチング選択率比が、N₂の流量が増加するにつれ低下することを示している。図6は誘電体とフォトレジストをエッチングするためのエッチング選択率比は、N₂流量の増加、またCHF₃の減少にともない実質的に低下することを示している。図7はエッチングされた表面形状45の側壁48のプロファイル角度は、CHF₃流量が高くなるにつれ小さくなり、N₂流量が増加するにつれ大きくなることを示している。図8はマイクロローディングがN₂をプロセスガスに加えるのにもなって実質的に低下することを示している。

【0037】

【表3】

表3

プロセスガス組成および例7-15の結果

例	CHF ₃ 流量 (sccm)	N ₂ 流量 (sccm)	エッチング速度 (nm/分)	酸化物とシリコンのエッチング選択率比	酸化物とレジストのエッチング選択率比	エッチング均一性 (μm)	プロファイル (°)	LiE差れ
7	0	0	349	31.5	19.4	7.6	87	40
8	0	20	360	19.6	10.6	3.9	87.6	8
9	0	40	352	23.8	9.3	4.4	87.52	6
10	20	0	469	37.8	21.8	4.1	85.5	60
11	20	20	481	16.3	11.4	3.3	86.6	3
12	20	40	474	13.4	8.9	3.7	87	3
13	40	0	513	37.7	23.9	4.3	84.6	63.5
14	40	20	523	16.8	12	3.5	85.5	30.6
15	40	40	527	12.3	9.3	3.1	86.6	18.5

最良の結果は実施例11で得られた。エッチング速度は4.81nm/分、誘電体のポリシリコンに対するエッチ

ング選択率比は16を上回り、対フォトレジストではエッチング選択率比は11.8を上回った。誘電層20内

でエッチングされた表面形状 45 のプロファイルは約 87° で、%マイクロローディングは約 3 であった。実施例 11 では、フルオロカーボンガス：炭素一酸素ガス：窒素含有ガスを備えるプロセスガスの体積流量比は 5 : 6 : 4 であった。また、プロセスガスと不活性ガスの体積流量比は 3 : 8 であった。さらに CHF_3 と C_4F_8 の体積流量比は約 4 : 1 であった。

【0038】これらの実施例から、本発明における方法は 350 nm/分 を上回る高エッチング速度、ポリシリコンに対して約 20 : 1、フォトレジストに対して 10 : 1 という優れたエッチング選択率比をもたらすことがわかる。誘電層 20 内でエッチングを施された表面形状 45 のプロファイルは 85° を超え、実質的に直角であり、%マイクロローディングはわずか 3% であった。

【0039】本発明は好ましい形態に関してかなり詳細に説明してきたが、このほかの形態も可能である。たとえば、フルオロカーボンガス、炭素一酸素ガス、窒素ガスと同等な機能を有するガスも使用でき、このエッチングプロセスはたとえばケイ化物、ホウ化物、窒化物、炭化物などの別の材料をエッチングするのにも用いることができる。したがって、添付の特許請求の範囲は上記の好ましい形態の説明に限定されるものではない。

【0040】

【発明の効果】以上詳細に説明したように、本発明によれば、高エッチング選択性、高エッチング速度を実現し、被エッチング表面形状の側壁に形成されるバッシュベーション堆積物の量を制御することにより、プロファイルマイクロローディングを減少させ、実質的な異方性エッチングをもたらすエッチング方法が提供される。

【図面の簡単な説明】

【図 1】図 1 (a) は基板を被覆する誘電層の概略縦断

面であり、図 1 (b) は誘電層にエッチングを施したあと、実質的に異方性エッチングをされたホールが示されている図 1 (a) の基板の概略縦断面図であり、図 1

(c) は基板上で導電性インターコネクトラインを被覆する誘電層の概略縦断面図であり、図 1 (d) は、誘電層にエッチングを施した後の、実質的に異方性エッチングをされたバイアが示されている図 1 (c) の基板の概略縦断面図である。

【図 2】図 2 は本発明のエッチングプロセスを実施するのに好適なプロセスチャンバの縦断面の概略図である。

【図 3】図 3 は CHF_3 と N_2 ガスの流量の増加にともなう誘電層エッチング速度変化を示すグラフである。

【図 4】図 4 は CHF_3 と N_2 ガスの流量の増加にともなう基板での誘電体エッチング均一性変化を示すグラフである。

【図 5】図 5 は CHF_3 と N_2 ガスの流量の増加にともなう BPSG とポリシリコンのエッチング選択率比の変化を示すグラフである。

【図 6】図 6 は CHF_3 と N_2 ガスの流量の増加にともなう BPSG とフォトレジストのエッチング選択率比の変化を示すグラフである。

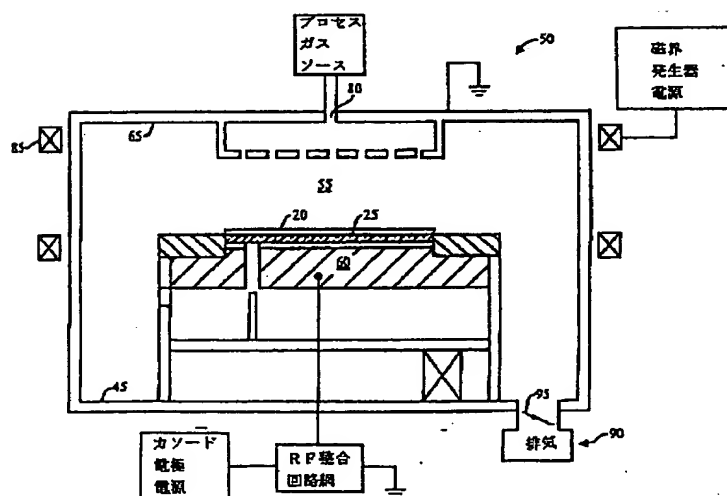
【図 7】図 7 は CHF_3 と N_2 ガスの流量の増加にともなう誘電層を介してエッチングされる表面形状のプロファイル角度の変化を示すグラフである。

【図 8】図 8 は CHF_3 と N_2 ガスの流量の増加にともなう %マイクロローディングの変化を示すグラフである。

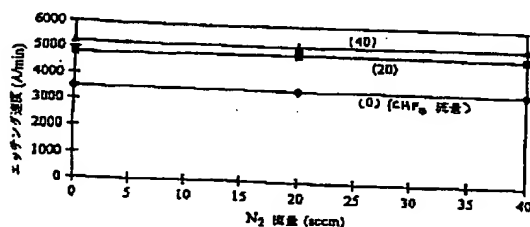
【符号の説明】

20…誘電層、25…基板、45…表面形状、48…側壁、50…プロセスチャンバ、55…プラズマゾーン、60、65…電極。

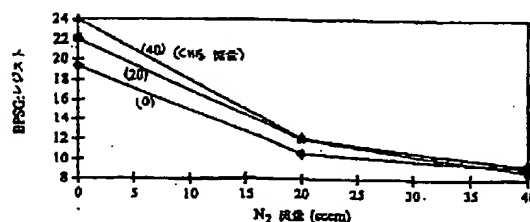
【図 2】



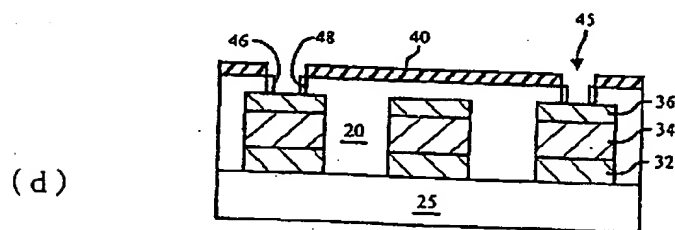
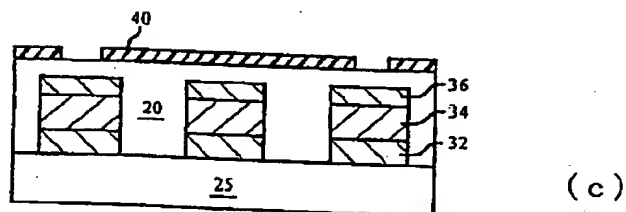
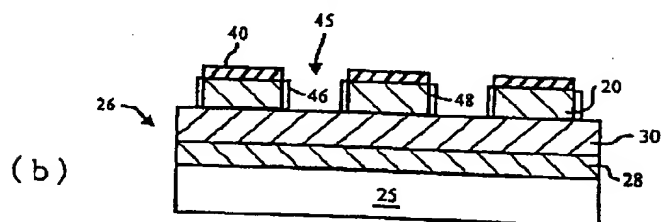
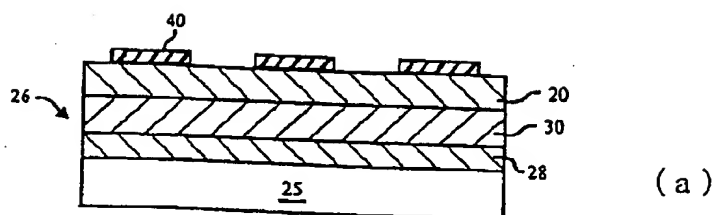
【図 3】



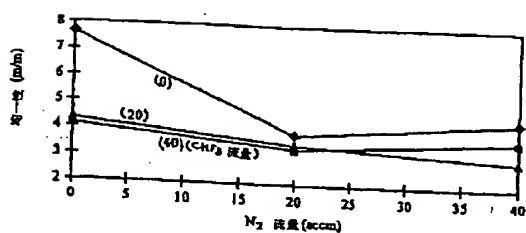
【図 6】



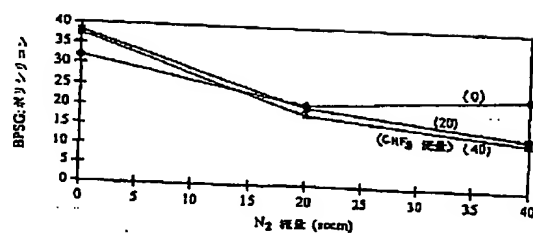
【図1】



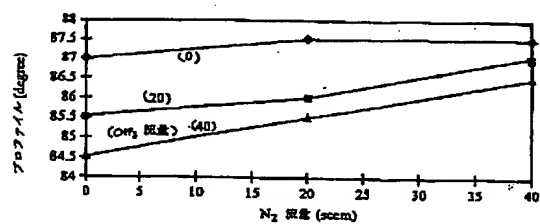
【図4】



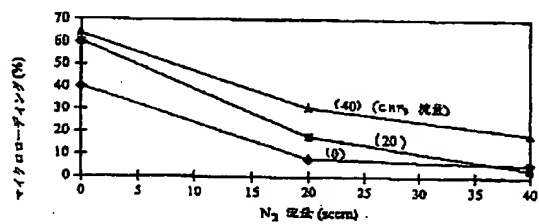
【図5】



【図7】



【図8】



フロントページの続き

(72)発明者 ホンチン シャン
アメリカ合衆国、カリフォルニア州、
サン ノゼ、タンブル ウェイ 3630

(72)発明者 マイケル ウェルチ
アメリカ合衆国、カリフォルニア州、
リヴァーモア、ローマ ストリート
940